

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 44 31 886 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 S 13/08
G 01 S 13/88
G 01 F 23/284

②1 Aktenzeichen: P 44 31 886.3
②2 Anmeldetag: 7. 9. 94
④3 Offenlegungstag: 18. 5. 95

DE 44 31 886 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
07.10.93 US 132981

⑦1 Anmelder:
Motorola, Inc., Schaumburg, Ill., US

⑦4 Vertreter:
Grünecker, A., Dipl.-Ing.; Kinkeldey, H., Dipl.-Ing.
Dr.-Ing.; Stockmair, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Ae.E. Cal
Tech; Schumann, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Jakob,
P., Dipl.-Ing.; Bezold, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Meister, W., Dipl.-Ing.; Hilgers, H., Dipl.-Ing.;
Meyer-Plath, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Ehnold, A.,
Dipl.-Ing.; Schuster, T., Dipl.-Phys.; Goldbach, K.,
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Aufenanger, M., Dipl.-Ing.;
Klitzsch, G., Dipl.-Ing.; Vogelsang-Wenke, H.,
Dipl.-Chem. Dipl.-Biol.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte,
80538 München

⑦2 Erfinder:
Locke, John Wesley, Tempe, Ariz., US

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Pegelmessung unter Verwendung von Mikrowellensignalen

⑤7 Verfahren und Vorrichtung zur Messung eines Pegels eines Materials in einem Tank, wobei ein frequenzgestuftes Mikrowellensignal einer Antenne eines Übertragers zugeführt wird und in der Antenne ein Signal, das von einer Oberfläche des Materials an einem Pegel, welcher gemessen werden soll, empfangen wird. Ein Meßsignal, welches sowohl Bereichs- als auch Kalibrierungssignale enthält, wird in gerade und ungerade Abtastsets verarbeitet, welche kontinuierlichen Schmalbandfiltern, die in einen Prozessor unter Verwendung eines DFT-Algorithmus oder anderer Algorithmen gebildet werden, verarbeitet, um wahre In-Phasen und Quadratur-Ausgänge zu erzeugen. Diese Ausgänge werden kombiniert und unter Verwendung eines Interpolationsalgorithmus weiter verarbeitet, um die Bereichs- und Kalibrierungsfrequenzkomponenten zu isolieren und die Distanzen, die durch diese Komponenten repräsentiert werden, exakt zu messen. Die Kalibrierungsdistanz, die mit der Kalibrierungsfrequenzkomponente assoziiert ist, wird mit einer bekannten Verzögerungsleitungslänge verglichen und jeglicher bestimmter Fehler wird verwendet, um die Bereichsdistanz, die mit der Bereichsfrequenzkomponente assoziiert ist, zu korrigieren.

DE 44 31 886 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Pegelmessung eines Materials oder einer Flüssigkeit in einem Speichertank und bezieht sich insbesondere auf eine Vorrichtung und ein Verfahren für eine derartige Messung unter Verwendung von Mikrowellensignalen, beispielsweise in einem großen Speichertank oder einem kleineren Prozeßtank.

Aufgrund von Bestandsaufnahmen und Kundenlieferungen besteht in der Industrie ein Bedürfnis nach genauer Pegelmessung, so daß Flüssigkeiten, wie Öl, Teer, Chemikalien und andere Materialien, die in großen Tanks gespeichert sind, genau gemessen werden können. Große Speichertanks können eine Höhe von 30 Metern und einen Durchmesser von 30 bis 60 Metern aufweisen. Prozeßtanks können eine Höhe von 3 bis 5 Meter und einen Durchmesser von 3 bis 5 Metern aufweisen. Früher wurden Flüssigkeitspegel dadurch gemessen, daß von einem am Dach befestigten Plattform ein Gegenstand in den Tank abgesenkt wurde. Die für diesen Zweck verwendeten Gegenstände wiesen einen langen Stock auf und sowohl manuelle als auch automatisierte Versionen von beschwerten Stöcken oder Seilen, die in den Tank abgelassen werden konnten, bis der flüssige oder feste Inhalt berührt wurde. Die Tiefe des Materials in dem Tank und damit das Volumen des Materials in dem Tank konnte dann anhand der Länge des Stockes oder des Seils abgeleitet werden. Diese mechanischen Methoden wurden stetig verbessert und konnten bei mancher Anwendung mit hoher Genauigkeit ausgeführt werden, wobei alle derartigen Verfahren jedoch eine physikalische Störung in der Tankumgebung verursachten. Es bestand daher auch die Gefahr, daß der Tankinhalt verschmutzt wurde und Korrosion auftrat und schließlich die Meßeinrichtung selbst zerstört wurde.

In der vergangenen 15 Jahren wurden verschiedene Pegelmeßeinrichtungen unter Verwendung von Radartechniken entwickelt (siehe beispielsweise US-A 4 044 355 und US-A-4 665 403). Bei Verwendung von Radartechniken wird das zu messende Material nicht berührt; die Antenne, die die Mikrowellenenergie ausstrahlt und empfängt, um dadurch die Messung zu ermöglichen, wird jedoch innerhalb des Tankes befestigt. Bei vielen Tankumgebungen herrscht eine gasförmige korrodierende Atmosphäre in dem Raum über der Flüssigkeit vor, so daß das Antennenmaterial erodieren konnte. Durch das Antennenmaterial wird somit auch eine Verschmutzung des Tankinhalts bewirkt. Zusätzlich sind derartige Radareinrichtungen auch relativ teuer im Gegensatz zu den mechanischen Ausführungsformen. Kürzlich wurden einige Einrichtungen beschrieben, bei denen die Antenne durch ein transparentes Fenster vom Tankinhalt getrennt wird. Bei diesen Einrichtungen wird jedoch das vertikale Profil um die Länge der Antenne vergrößert.

Typische Radarpegelmeßeinrichtungen verwenden Hornantennen oder parabolische Reflektorantennen, die sich innerhalb des Tankes erstrecken und verwenden dazu FM-CW (frequenzmodulierte kontinuierliche Wellen)-Wellenformen, bei denen die Frequenz des übertragenen Signals linear über ein GHz gewobbel wird. Das empfangene Signal wird direkt mit dem übertragenen Signal gemischt, um ein Mischerausgangssignal zu erzeugen, dessen Frequenz (die Meßfrequenz) konstant ist und direkt proportional zur Distanz zwischen der Antenne und der reflektierenden Oberfläche. Derartige Systeme verwenden unterschiedliche Verfahren, um die Nichtlinearität der gewobbelten Wellenform zu korrigieren und verwenden weiterhin Hybrid-Analog/Digital-Implementationen von Tracking-Filtern, welche zur Verarbeitung des Signals dienen, derart, daß die Frequenz des Mischerausgangssignals richtig abgeschätzt werden kann und somit der Flüssigkeitspegel richtig bestimmt werden kann.

Es besteht somit ein Bedürfnis nach einem Pegelmeßverfahren und einer entsprechenden Vorrichtung, welche eine Antennenimplementation aufweist, die sich außerhalb der inneren Tankatmosphäre befindet und ein kurzes vertikales Profil aufweist. Ein derartiges System sollte vorzugsweise mit Wellenformen arbeiten, die es nicht erforderlich machen, die Frequenz des übertragenen Signals durchzuwobbeln und zusätzlich sollte die Anzahl der Teile möglichst gering sein, indem ein einzelner Empfangspfad mit einem Mikrowellenmischer, einem Empfangsverstärker und einem Analog/Digital-Wandler verwendet wird. Ein derartiges System sollte vorzugsweise eine digitale Verarbeitung nach dem ersten Empfangsverstärker aufweisen, um die Anteile von Meßfehlern zu minimieren und sollte außerdem digitale Verarbeitungsalgorithmen aufweisen, um damit die Teilezahl zu minimieren und die Zuverlässigkeit zu erhöhen.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Messen eines Pegels von Material in einem Tank angegeben, welches folgende Schritte aufweist: Bereitstellen eines stufenweise gewobbelten Mikrowellensignals an eine Antenne eines Übertragers und Empfangen eines Signals von der zu messenden Oberfläche in der Antenne. Das Verfahren weist weiterhin die Schritte des Verarbeitens des empfangenen Signals und des schrittweise gewobbelten Mikrowellensignals auf, um den Pegel des Materials in dem Tank zu bestimmen.

Weiterhin ist eine Einrichtung zum Messen eines Materialpegels in einem Tank angegeben, wobei die Einrichtung eine Antenne und einen stufenweise betreibbaren Frequenzübertrager/Empfänger, der mit der Antenne gekoppelt ist, aufweist. Der stufenweise betreibbare Frequenzübertrager/Empfänger stellt ein ersters gestuftes Frequenzmikrowellensignal an die Antenne zur Verfügung, welches zum Pegel des Materials in dem Tank, welcher gemessen werden soll, übertragen wird. Der stufenweise betreibbare Frequenzübertrager/Empfänger empfängt ein zweites gestuftes Frequenzmikrowellensignal in Antwort auf das erste gestufte Frequenzmikrowellensignal. Ein Signalprozessor führt die Verarbeitung des gemessenen Signals durch, um dadurch den Pegel des Materials in dem Tank zu bestimmen.

Im folgenden werden bevorzugte Ausführungen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen die Zeichnungen im einzelnen:

Fig. 1 die Seitenansicht einer Kombination, bestehend aus Übertrager, Empfänger, Signalprozessor und Datenformatiereinrichtung, enthaltend eine Pegelmeßeinrichtung, die an einem Beobachtungspunkt des Speichertanks befestigt ist gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf eine planare Antenne, die zur Befestigung auf einem Druckfenster an einem

Beobachtungspunkt des Speichertanks der Fig. 1 geeignet ist;

Fig. 3 zeigt ein Blockschaltbild eines Übertragers, eines Empfängers und eines Signalprozessors, die eine Pegelmeßeinrichtung gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung enthalten;

Fig. 4 zeigt eine Darstellung von 2N-diskreten Frequenzen, die für die stufenweise Frequenz im Überträger, Empfänger und Signalprozessor der Fig. 3 verwendet werden;

Fig. 5 zeigt gefilterte Mischerausgangsspannungen, aufgetragen gegen die Frequenz, wie sie beim Verarbeiten der gestuften Frequenzmikrowellensignale der Fig. 3 erhalten werden;

Fig. 6 zeigt eine Spannung, aufgetragen gegenüber einer Frequenzgewichtsfunktion, wie sie beim Verarbeiten der gestuften Frequenzmikrowellensignale der Fig. 3 verwendet werden;

Fig. 7 zeigt ein Diagramm der Filterausgangsgrößen von der Vorrichtung der Fig. 3, wenn der Zielbereich sich im Zentrum eines Filters befindet; und

Fig. 8 zeigt ein Diagramm der Filterausgangsgrößen von der Vorrichtung der Fig. 3, wenn sich der Zielbereich zwischen zwei Filtern befindet.

In Fig. 1 ist eine Seitenansicht einer Kombination aus Überträger, Empfänger, Signalprozessor und Datenformatieranordnung gezeigt, die eine Pegelmeßeinrichtung aufweist, die auf einem Beobachtungspunkt (viewing port) eines Speichertanks gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung befestigt ist. Diese Meßvorrichtung umfaßt einen Überträger, einen Empfänger, einen Prozessor und eine Datenformatieranordnung, die auf einem Dach oder einem Beobachtungsluke (viewing port) 7 auf dem Speichertankdach 9 befestigt ist, wie dies in Fig. 1 gezeigt ist. Eine derartige Luke 7 weist meist einen Durchmesser von 15 bis 30 cm auf. Ein Druckfenster aus Glas, Keramik, Plexiglas oder anderem tragenden Material, welches für Mikrowellen durchlässig ist, kann an der Luke 7 derartig befestigt werden, daß ein dichter Verschuß gewährleistet ist. Eine planare Mikrowellenantenne 2 kann dann auf das Glasfenster befestigt werden, so daß der Mikrowellenstrahl, der von der Antenne ausgeht, durch das Druckfenster 5 zur Zieloberfläche 14 gerichtet werden kann, so daß eine Höhen- oder Tiefenmessung bezüglich des Materials in dem Tank vorgenommen werden kann. Die elektrische Schaltung für den Überträger/Empfänger und dem Prozessor 1 kann direkt hinter der Antenne 2 in einem kleinen kompakten Gehäuse befestigt sein.

In Fig. 2 ist eine Draufsicht einer planaren Antenne gezeigt, die sich zur Befestigung auf dem Druckfenster der Beobachtungsluke des Speichertanks aus Fig. 1 eignet. Die Antenne 2 in Fig. 2 ist als Feld von gedruckten strahlenden Schaltkreiselementen 11 gezeigt. In der bevorzugten Ausführungsform der Fig. 2 sind 16 strahlende Elemente 11 gezeigt. Es kann jedoch auch eine andere Anzahl von strahlenden Elementen und andere geometrische Konfigurationen für die strahlenden Elemente verwendet werden. Die strahlenden Elemente 11, wie sie in Fig. 2 gezeigt sind, können mit der Übertragungs/Empfangs-Elektronik der Pegelmeßeinrichtung über ein verbundenes Zuführungsnetzwerk von Mikrowellensplütern, welche im Stand der Technik bekannt sind, verbunden sein. Bei einem derartigen Design sind die Mikrowellenpfade an alle Elemente von gleicher Länge, und die Antenne 2 kann in planarer Weise konstruiert sein, um eine Bandweite aufzuweisen, die die übertragene Wellenform unterstützt. Es sei angemerkt, daß, obwohl die bevorzugte Ausführungsform gemäß Fig. 1 eine planare Mikrowellenantenne 2 verwendet, es nicht notwendig ist, eine planare Mikrowellenantenne zu verwenden. Zahlreiche andere Antennenkonfigurationen können ebenso verwendet werden.

In Fig. 3 ist ein Schaltbild eines Übertragers, eines Empfängers und eines Signalprozessors gezeigt, die eine Pegelmeßeinrichtung gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung enthalten. Die Pegelmeßeinrichtung der Fig. 3 enthält eine Übertragungs/Empfangseinheit 4, eine Signalprozessoreinheit 6 und eine Antenne 2 (welche in der bevorzugten Ausführungsform der Fig. 3 als planare Antenne eingezeichnet ist).

Die Übertragungs/Empfangseinheit 4 der Fig. 3 enthält einen Mikrowellenfrequenzgenerator 8, der mit einer Frequenzauswahlsteuereinheit 16 und einem Mischer 10 verbunden ist. Ein Koppler 12 ist ebenfalls mit dem Mischer 10 verbunden, ebenso wie eine Verzögerungsleitung 20 und eine planare Antenne 2. Der Mischer 10 ist außerdem mit einem Empfangsfilter/Verstärker 18 verbunden.

Die Signalprozessoreinheit 6 enthält einen Analog/Digital-Wandler 22, der mit dem Empfangsfilter/Verstärker 18 der Übertragungs/Empfangseinheit 4 verbunden ist. Die Signalprozessoreinheit 6 weist außerdem einen digitalen Multiplizierer 26 auf, der mit dem Analog/Digital-Wandler 22 sowie mit einem Gewichtungsfunktionsspeicher (weighting function memory) 24 verbunden ist. Der digitale Multiplizierer 26 ist mit einem DFT (discrete Fourier transformation)-Glieder 28 verbunden. Eine Abtastungsquadraturkorrekturschaltung 30 ist zwischen dem DFT-Glieder 28 und der Filterausgangsgrößenberechnungseinheit 32 verbunden. Ein Mehrfachsequenzaußenmittler (multiple sequence averager) 34 ist mit der Filterausgangsgrößenberechnungseinheit 32 verbunden. Ein Oberflächendistanzabschätzer 36 ist zwischen einem Datenformatierer 38 und dem Mehrfachsequenzaußenmittler 34 verbunden.

Der Mikrowellenfrequenzgenerator 8 in Fig. 3 kann eine bekannte Vorrichtung sein, die ein gestuftes Frequenzmikrowellensignal 3 mit einer von 2N-stabilen Frequenzen erzeugt, die wiederum durch die programmierbare Frequenzauswahlsteuereinrichtung 16 ausgewählt wurde. Die Frequenzauswahlsteuereinrichtung 16 kann so programmiert sein, daß sie sequentiell in gestufter Weise die 2N-Frequenzen durchläuft, wobei sie für eine Zeit t_d bei jeder Frequenz verweilt. Die gestuften Mikrowellenfrequenzsignale 3 von dem Mikrowellengenerator 8 werden dem Mischer 10 zugeführt. Der Mischer 10 weist eine gesteuerte Ableitung (leakage) auf, wobei ein Anteil 13 des gestuften Frequenzmikrowellensignals 3, welches seinem Eingang zugeführt wird, durch den Koppler 12 an die Antenne 2 weitergeführt wird und auf den Zieloberflächenpegel 14 des Tankinhalts abgestrahlt wird. In dem Koppler 12 wird ein zweiter Teil 21 des gestuften Frequenzmikrowellensignals 3 auf eine Verzögerungsleitung 20 von bekannter Länge abgeleitet, die eine Referenz für die Kalibrierung darstellt.

Die Antenne 2 dient sowohl als Übertragungsantenne als auch als Empfangsantenne. Das Signal 17 ist das zum Pegel 14 übertragene Signal. Das Signal 19 ist das von dem Zieloberflächenpegel 14 zur Antenne zurückreflektierte Signal. Das Signal 19 wird von der Antenne 2 empfangen und dem Mischer 10 über den Koppler 12

zugeführt. Das reflektierte Signal 19 wird von dem Mischer 10 mit dem Mikrowellensignal 3, welches direkt von dem Mikrowellenfrequenzgenerator 8 kommt, gemischt, um einen Meßsignalanteil des Signals 15 zu erzeugen, welcher in den Empfangsfilter/Verstärker 18 eingegeben wird. Das reflektierte Signal 19 weist exakt die gleiche Frequenz wie das Mikrowellenfrequenzsignal 3 auf, weicht von diesem jedoch in der Phase um einen Betrag ab, der direkt proportional zu dem Abstand zwischen der Antenne 2 und dem Pegel 14 ist. Wenn das Mikrowellenfrequenzsignal eine Frequenz f_n aufweist, die zu messende Distanz R beträgt und die Geschwindigkeit des elektromagnetischen Mikrowellensignals c (Lichtgeschwindigkeit) ist, so ergibt eine in Radian ausgedrückte Phasendifferenz zwischen dem direkten Mikrowellenfrequenzsignal 3 und dem reflektierten Signal 19 zu:

$$10 \quad \beta_n = 4\pi R f_n / c \quad (\text{Gleichung 1})$$

Wenn zwei sinusförmige Signalverläufe mit der Frequenz f und der Phasendifferenz β einem symmetrischen Detektor zugeführt werden, ergibt sich folgender Ausgang:

$$15 \quad E_{out} = K(\cos\beta - \cos(4\pi f t)) + \text{Therme höherer Ordnung} \quad (\text{Gleichung 2})$$

(siehe Skolnik, M. Radar Handbook 2nd Edition, McGraw Hill, Seite 3.36). Bei dieser bevorzugten Ausführungsform der Erfindung besteht der symmetrische (balanced) Detektor aus einem Mikrowellenmischer 10. Ein dem Mischer 10 nachgeschalteter Tiefpaßfilter, der ein Teil des Empfängerfilters/Verstärkers 18 in Fig. 3 darstellt, entfernt alles bis auf den $\cos\beta$ Phasenausdruck, wobei $\beta \propto R$ ist, wie oben definiert ist.

In Fig. 4 ist eine Darstellung von $2N$ diskreten Frequenzen gezeigt, die bei der Frequenzdurchstufung im Übertrager, Empfänger und Signalprozessor der Fig. 3 verwendet werden. Bei der bevorzugten Ausführungsform wird das übertragene Mikrowellenfrequenzsignal 3 sequentiell durch $2N$ Frequenzen von f_1 bis f_{2N} durchgestuft. Der Frequenzabstand zwischen jedem Frequenzschritt beträgt f_{Schritt} . Bei jeder Frequenz wird das Mikrowellenfrequenzsignal 3 für einen Zeitraum t_d übertragen, während der Ausgang des Empfänger-Filter/Verstärkers 18 abgetastet wird und in ein digitales Wort mittels des A/D-Wandlers 22 umgewandelt wird. Der Ausgang des Empfänger-Filters/Verstärkers 18 ist bei der übertragenen Frequenz f_n proportional zu $\cos\beta$ entsprechend der Gleichung 2. Für einen gegebenen Abstand R zum Ziel wird die Variation im Empfänger-Filter/Verstärker 18-Ausgang, wenn das übertragene Mikrowellenfrequenzsignal 3 sequentiell ausgewählt wird, eine einmalig getastete Sinuswellenform ergeben, wie dies in Fig. 5 gezeigt ist.

Der Abstand zur Zieloberfläche (Pegel 14) kann dadurch bestimmt werden, daß die Anzahl der Schwingungen in der Signalform der Fig. 5, die über zwei N -Frequenzschritte dargestellt ist, herausgefunden wird. Die maximale Distanz R_{max} , die eindeutig gemessen werden kann, entspricht der Distanz, die einen vollen Zyklus in Fig. 5 über zwei Frequenzschritte von 180° Phasenverschiebung zwischen den Frequenzschritten erzeugt. Als Gleichung ausgedrückt, ergibt sich:

$$35 \quad R_{\text{max}} \leq c/(4f_{\text{Schritt}}) \text{ oder } f_{\text{Schritt}} \leq c/(4R) \quad (\text{Gleichung 3})$$

Die digitalen Abtastungen 19 von dem A/D-Wandler 22 werden in dem digitalen Multiplizierer 26 gewichtet (multipliziert), wobei dies unter Verwendung gespeicherter Gewichtungen aus einem Gewichtsfunktionsspeicher 24 erfolgt, um Übergangseffekte, vor der weiteren Verarbeitung, zu reduzieren. Die Hüllkurve der Größen der gespeicherten Gewichte sind in Fig. 6 gezeigt. Die $2N$ gewichteten digitalen Abtastsignale 27, die von einer Frequenzdurchstufungsfrequenz erhalten werden, werden in der folgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform als ein Datensatz bezeichnet. Für den Datensatz von $2N$ Abtastungen werden $2N$ -Abtastungsuntersätze erzeugt. Die N ungeraden Abtastungen werden in einen Satz "Ungerader" und die N geraden Abtastungen werden in einen Satz von "Geraden" plazierte. Die zwei $2N$ Abtastungen werden dann durch einen N -Punkt diskreten Fourier-Transformations-(DFT)-Algorithmus 28 verarbeitet.

Der DFT 28, der ein DFT sein kann, wie er dem Fachmann bekannt ist, agiert als eine Bank von N kontinuierlichen Schmalbanddigitalfiltern, die die gefilterte Mischerausgangsspannung von dem Empfänger-Filter/Verstärker 18 isolieren (Fig. 5), so daß die Signalfrequenz und damit der Abstand zur Zieloberfläche bestimmt werden kann. Der DFT 28 führt eine komplexe diskrete Fourier-Transformation an den Satz von N Datenpaaren durch, wobei jedes Paar eine reale Komponente und imaginäre Komponente aufweist. In der bevorzugten Ausführungsform wird der Satz von "Geraden" als die realen Eingangskomponenten verwendet und der Satz von "Ungeraden" als der imaginären Eingangskomponenten zum Eingeben in den DFT 28 verwendet. Die N komplexen Ausgangspaare des DFT 28, von denen jedes eine Realkomponente und eine Imaginärkomponente aufweist, werden sortiert, kombiniert und in ihrer Phase korrigiert, wobei dies im Abtastquadraturkorrekturglied 30 (sample quadrature corrector) erfolgt. Wenn man die N Realausgangskomponenten des DFT 28 und die N imaginären Ausgangskomponenten des DFT 28 mit $R(n)$ und $I(n)$ bezeichnet, wobei $n = 1, 2, 3, \dots$ ist, ergeben sich für die Verarbeitung in dem Abtastquadraturkorrekturglied 30 zwei neue Sätze von Real- und Imaginärausgangsgrößen, $S_{\text{real}}(n)$ und $X_{\text{imag}}(n)$ unter Verwendung von folgenden Algorithmen:

Für $n = 1$

$$X_{\text{real}}(1) = R(1) \text{ and } X_{\text{imag}}(1) = I(1)$$

Für $n = 2$ to N :

$$X_{\text{real}}(n) = [(R(n) + R(N + 2 - n))/2 + \cos(\Omega(n))I(n) + I(N + 2 - n)]/2 - \sin(\Omega(n))[R(n) - R(N + 2 - n)]/2$$

$$X_{\text{imag}}(n) = [(I(n) - I(N + 2 - n))/2 - \sin(\Omega(n))[I(n) + I(N + 2 - n)]/2 - \cos(\Omega(n))[R(n) - R(N + 2 - n)]/2$$

wobei: $\Omega(n) = \pi(n - 1)/N$ (Gleichung 4)

Jedes komplexe Ausgangsabtastungspaar wird dann in der Filterausgangsgrößenberechnungseinheit 32 in ein einzelnes digitales Größenwort umgewandelt, um einen N-Abtastausgangssatz $X_m(n)$ zu erhalten, wobei der Satz von N Abtastungen die Größen der wahren Fourier-Transformation von dem ursprünglichen 2N-Abtastungseingangsdatensatz enthält und wobei gilt:

$$X_m(n) = [(X_{\text{real}}(n))^2 + (X_{\text{imag}}(n))^2]^{1/2} \quad (\text{Gleichung 5})$$

Die oben beschriebene Verarbeitung führt eine Frequenzabstufungssequenz durch. Die Ausgangssätze von M Sequenzen werden im Mehrfachsequenzausmittler 34 der Fig. 3 ausgemittelt, um eine geglättete Schätzung der Ausgangsgrößen jedes der N DFT-Filter zu bilden. Wenn der Abstand R zum Pegel 14 zu einem Frequenzsignalverlauf führt, dessen Frequenz in das Zentrum des DFT-Filters fällt, wird die Kurve des ausgemittelten Ausgangssatzes ähnlich zu der in Fig. 7 sein. Alternativ wird, wenn der Abstand R zum Pegel 14 zu einem Signalverlauf führt, dessen Frequenz zwischen zwei DFT-Filtern fällt, zu einer Kurve führen, deren gemittelter Ausgangssatz (Ausgangsaufzeichnung) ähnlich der der Fig. 18 wird. Ein Interpolations-Algorithmus wird in den Oberflächenabstandsschätzer 36 der Fig. 3 implementiert, um den tatsächlichen Abstand zur Zieloberfläche 14, basierend auf den Größen der Ausgänge der Filter, die sich nahe zu dem Filter mit dem größten Ausgang befinden, zu bestimmen.

Der Interpolationsalgorithmus, der bei einer bevorzugten Ausführungsform verwendet wird, kann folgende Form aufweisen:

$$R = (R_a + R_b)/2 - [k(E_a - E_b)\mu]/(E_a + E_b) \quad (\text{Gleichung 6})$$

wobei R_a und R_b die Abstände darstellen, die dem Zentrum der zwei Filter mit den größten Größen entsprechen, E_a und E_b die Spannungsgrößen dieser zwei Filter angeben, μ der Filterabstand in Einheiten der Distanz ist und k eine Konstante ist, mit der ein minimaler Fehler erzielt wird.

Der Algorithmus kann auch folgende Form aufweisen:

$$R = (R_a + R_c)/2 - [k_1(E_a - E_c)\mu]/(E_a + k_2 E_b + E_c) \quad (\text{Gleichung 7})$$

wobei R_c die Distanzen entsprechend dem Zentrum der beiden äußeren von drei benachbarten Filtern mit den größten Größen angeben, E_a , E_b und E_c die Spannungsgrößen dieser drei Filter sind, μ der Filterabstand in Einheiten des Abstandes ist und k_1 und k_2 Konstanten sind, mit denen ein minimaler Fehler erzielt wird.

Durch Verwendung des Kalibrierungsfrequenzsignals 21 der Fig. 3, welches über den Mischer 10 als Teil des Signals 15 an den Empfänger-Filter/Verstärker 18 zugeführt wird, werden die Abstände zum Kalibrierungsziel (Verzögerungsleitung 20) und zum Oberflächenpegel 14 auf diese Weise geschätzt und die Zieloberflächenabstandsmessung wird, basierend auf die Kalibrierungsmessung, korrigiert. Der Zielabstand zum Pegel 14 wird dann im Datenformatierer 38 der Fig. 3 formatiert, um an eine Anzeige auf einer lokalen Ausleseeinrichtung oder für eine telemetrische Übertragung an einen entfernten Ausleseplatz ausgegeben zu werden.

Somit wurde eine Vorrichtung und ein Verfahren beschrieben, welche spezielle Probleme im Stand der Technik lösen und dabei verschiedene Vorteile gegenüber den Verfahrensmechanismen, die im Stand der Technik bekannt waren, bieten. Die Verbesserungen über die bekannte Technologie sind beachtlich. Das beschriebene Verfahren und die beschriebene Vorrichtung stellen eine Antennenimplementation mit niedrigem Profil (low profil) zur Verfügung, wobei die Pegelmessung erfolgen kann, ohne dabei in die innere Tankatmosphäre einzudringen. Das Verfahren und die Vorrichtung verwenden eine Signalforn, die nicht erforderlich macht, das übertragene Signal durchzuwobeln. Ein einzelner Empfangspfad, der einen Mikrowellenmischer, einen Empfangsverstärker und einen A/D-Wandler aufweist, wird verwendet (dies entspricht etwa der halben Anzahl von Teilen gegenüber früheren Einrichtungen). Das Verfahren und die Vorrichtung verwenden nach dem ersten Empfangsverstärker digitale Verarbeitung, um Meßfehlern zu minimieren. Zusätzlich verwendet das Verfahren und die Vorrichtung spezielle digitale Verarbeitungsalgorithmen, um zusätzlich die Teilzahl zu minimieren und die Verlässlichkeit zu vergrößern.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen eines Pegels von Material in einem Tank, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Bereitstellen eines Mikrowellensignals mit gestufter Frequenz (stepped frequency microwave signal) an eine Antenne eines Übertragers;

Richten des Übertragungssignals auf das Material in dem Tank;

Empfangen eines Signals in der Antenne von einer Oberfläche des Materials an einem zu messenden Pegel;

Mischen des empfangenen Signals mit dem gestuften Frequenzsignal, um ein Signal zu erzeugen; und

Verarbeiten des Meßsignals, um den Pegel des Materials in dem Tank zu bestimmen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Schritte Bereitstellen, Richten, Empfangen, Mischen und Verarbeiten für eine Vielzahl von gestuften Frequenzmikrowellensignalen wiederholt werden, um eine Vielzahl von Ausgangswerten (output records) zu erzeugen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Schritt des Verarbeitens des gemessenen Signals folgende Schritte aufweist:

1 Verarbeiten des Meßsignals in einem Signalprozessor, um ein Bereichsfrequenzsignal (ranging frequency signal) und ein Kalibrierungsfrequenzsignal zu erzeugen; und
 5 Bestimmen des Pegels des Materials von dem Bereichsfrequenzsignal und des Kalibrierungsfrequenzsignals.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem der Schritt des Verarbeitens des Meßsignals weiterhin folgende Schritte aufweist:

Abtasten des Meßsignals, um gemessene Abtastwerte zu erzeugen;
 10 Multiplizieren der gemessenen Abtastwerte mit gespeicherten Gewichten;
 Trennen gerader und ungerader Abtastsets enthaltender In-Phase Eingangsabtastsets und Quadratur-Eingangsabtastsets; und
 Verarbeiten der In-Phase Abtastsets und Quadratur-Abtastsets in einer Bank von kontinuierlichen Schmalbandfiltern unter Verwendung eines Fourier-Transformationsalgorithmus.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem der Schritt des Verarbeitens des Meßsignals weiterhin folgende Schritte aufweist:

weiteres Verarbeiten der In-Phase und Quadratur-Abtastsets, um wahre In-Phase und Quadratur-Filterbankausgänge zu erhalten;
 20 Kombinieren der wahren In-Phase und Quadratur-Filterbankausgänge in einen einzelnen Satz von Filterausgängen; und
 Verarbeiten des einzelnen Satzes von Filterausgängen, um das Bereichsfrequenzsignal und das Kalibrierungsfrequenzsignal zu isolieren.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem der Schritt des Verarbeitens des Meßsignals weiterhin folgende Schritte aufweist:

25 Messen eines ersten Abstandes, der mit dem Kalibrierungsfrequenzsignal assoziiert ist;
 Messen eines zweiten Abstandes, der mit dem Bereichsfrequenzsignal assoziiert ist;
 Vergleichen der ersten Distanz mit einer bekannten Verzögerungsleitungslänge, um einen Fehler zu bestimmen;
 30 Korrigieren der zweiten Distanz mit dem bestimmten Fehler, um den Pegel des Materials in dem Tank zu bestimmen.

7. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die Schritte des Verarbeitens des Meßsignals weiterhin den Schritt des Ausmittels der Vielzahl von Ausgangswerten (records) umfaßt.

8. Verfahren zum Messen eines Pegels von Material in einem Tank mit:
 einer Antenne;

35 einem gestuften Frequenzübertrager/Empfänger, der mit der Antenne gekoppelt ist, wobei der gestufte Frequenzübertrager/Empfänger ein erstes gestuftes Mikrowellensignal an die Antenne liefert, welches zu dem Pegel des Materials in dem Tank übertragen wird und der gestufte Frequenzübertrager/Empfänger ein zweites gestuftes Frequenzmikrowellensignal in Antwort dazu empfängt;
 einem Signalprozessor zum Verarbeiten eines Meßsignals, das von dem gestuften Mikrowellensignal und dem empfangenen Signal erhalten wird, um den Pegel des Materials in dem Tank zu bestimmen.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Antenne eine planare Antenne umfaßt.

10. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem der gestufte Frequenzübertrager/Empfänger aufweist:

einen Mikrowellenfrequenzgenerator;
 eine Frequenzauswahlsteuerung, die mit dem Mikrowellenfrequenzgenerator gekoppelt ist, um den Mikrowellenfrequenzgenerator zu steuern;
 45 einen Mischer, der mit dem Mikrowellenfrequenzgenerator gekoppelt ist, wobei der Mischer das zweite frequenzgestufte Mikrowellensignal mit dem ersten frequenzgestuften Mikrowellensignal mischt, um ein Meßsignal zu erzeugen; und
 einen Empfänger-Filter/Verstärker, der mit dem Mischer gekoppelt ist zum Empfangen des Meßsignals und zum Erzeugen eines Empfänger-Filter/Verstärkerausgangs.

11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der gestufte Frequenzübertrager/Empfänger weiterhin aufweist:

eine Verzögerungsleitung mit kalibrierter Länge; und
 einen Koppler, der mit der Verzögerungsleitung und der Antenne gekoppelt ist, wobei das erste frequenzgestufte Mikrowellensignal, welches in die Verzögerungsleitung eingeführt wird, ein Kalibrierungsfrequenzsignal erzeugt.

12. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Signalprozessor aufweist:

einen Analog/Digital(A/D)-Wandler, der mit dem Empfänger-Filter/Verstärker des Übertragers/Empfängers gekoppelt ist, wobei der A/D-Wandler zum Empfangen eines Empfänger-Filter/Verstärkerausgangs und zum Erzeugen digitaler Abtastsignale dient;
 60 einen Digitalmultiplizierer, der mit dem A/D-Wandler gekoppelt ist zum Multiplizieren der digitalen Abtastwerte mit einer Vielzahl von Gewichten;
 eine diskrete Fourier-Transformationseinheit (DFT), die mit dem digitalen Multiplizierer gekoppelt ist, wobei die DFT-Einheit zum Filtern der digitalen Abtastwerte dient, um Ausgangsabtastpaare zu erzeugen;
 eine Abtastquadraturkorrekturereinheit, die mit der DFT-Einheit gekoppelt ist, um die Ausgangsabtastpaare zu sortieren, kombinieren und in ihrer Phase zu korrigieren; und
 65 einen Filterausgangsgrößenberechner, der mit der Abtastquadraturkorrekturereinheit verbunden ist zum Umwandeln der Ausgangsabtastpaare in Ausgangswerte (output record).

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, bei dem der Signalprozessor weiterhin aufweist:

einen Gewichtsfunktionsspeicher, der mit dem digitalen Multiplizierer gekoppelt ist, wobei der Gewichtsfunktionsspeicher Gewichte speichert, die zum Multiplizieren der digitalen Abtastwerte dienen, um Übergangseffekte zu reduzieren;

einen Vielfachsequenzausmittler, der mit der Filterausgangsgrößenkorrektureinheit verbunden ist zum Ausmitteln der Ausgangswerte;

einen Oberflächendistanzabschätzer, der mit dem Vielfachsequenzausmittler verbunden ist zum Bestimmen des Abstandes zum Pegel des Materials; und

einen Datenformatierer, der mit dem Oberflächendistanzabschätzer verbunden ist zum Erzeugen eines Ausgangs für eine Anzeige oder zur telemetrischen Übertragung der Daten in Antwort auf die Bestimmung des Abstandes des Pegels des Materials.

14. Verfahren zum Messen eines Pegels eines Materials in einem Tank mit folgenden Schritten:

Bereitstellen eines frequenzgestuften Mikrowellensignals an eine Antenne eines Übertragers;

Empfangen eines Empfangssignals in der Antenne von einer Oberfläche des Materials an einem Pegel, der gemessen werden soll; und

Verarbeiten des Empfangssignals und des frequenzgestuften Mikrowellensignals, um den Pegel des Materials in dem Tank zu bestimmen.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei der Schritt des Bereitstellens eines frequenzgestuften Mikrowellensignals den Schritt des Steuerns eines Mikrowellenfrequenzgenerators mit einer Frequenzwahlsteuerung umfaßt.

16. Verfahren nach Anspruch 14, bei dem der Schritt des Verarbeitens des empfangenen Signals und des frequenzgestuften Mikrowellensignals folgende Schritte aufweist:

Mischen des empfangenen Signals und des ersten frequenzgestuften Mikrowellensignals, um ein Meßsignal zu erzeugen; und

Erzeugen eines Empfänger-Filter/Verstärker-Ausgangs von einem Empfänger-Filter/Verstärker in Antwort auf das Meßsignal.

17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem der Schritt des Verarbeitens des empfangenen Signals und des frequenzgestuften Mikrowellensignals weiterhin den Schritt des Erzeugens eines Kalibrierungsfrequenzsignals in einer Verzögerungsleitung in Antwort auf das frequenzgestufte Mikrowellensignal umfaßt.

18. Verfahren nach Anspruch 17, bei dem der Schritt des Verarbeitens des empfangenen Signals und des frequenzgestuften Mikrowellensignals weiterhin folgende Schritte aufweist:

Empfangen des Empfänger-Filter/Verstärker-Ausgangs an einem Analog/Digital-Wandler;

Erzeugen digitaler Abtastwerte von dem A/D-Wandler;

Multiplizieren der digitalen Abtastwerte in einen digitalen Multiplizierer;

Filtern der digitalen Abtastwerte in einer DFT (discrete Fourier-transform)-Einheit, um Ausgangsabtastpaare zu erzeugen;

Korrigieren der Ausgangsabtastpaare bezüglich ihrer Phase in einer Abtastquadraturkorrektureinheit; und

Umwandeln der Ausgangsabtastpaare zu Ausgangswerten (output record) in einer Filterausgangsgrößenberechnungseinheit.

19. Verfahren nach Anspruch 18, bei dem der Schritt des Verarbeitens des empfangenen Signals und des frequenzgestuften Mikrowellensignals weiterhin den Schritt des Speicherns von Gewicht in einem Gewichtsfunktionsspeicher aufweist, um die digitalen Abtastwerte mit den Gewichten multiplizieren zu können, um dadurch Übergangseffekte zu reduzieren.

20. Verfahren nach Anspruch 18, wobei der Schritt des Verarbeitens des empfangenen Signals und des frequenzgestuften Mikrowellensignals weiterhin folgende Schritte aufweist:

Ausmitteln der Ausgangswerte in einem Mehrfachsequenzausmittler;

Bestimmen der Distanz des Pegels des Materials in einer Oberflächendistanzabschätzeinrichtung; und

Erzeugen eines Ausgangs für eine Anzeige oder zur telemetrischen Übertragung in Antwort auf die Bestimmung des Abstandes des Pegels des Materials in einen Datenformatierer (data formatter).

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

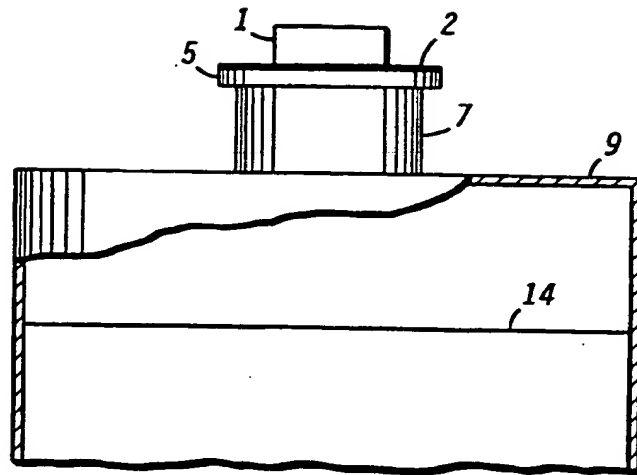
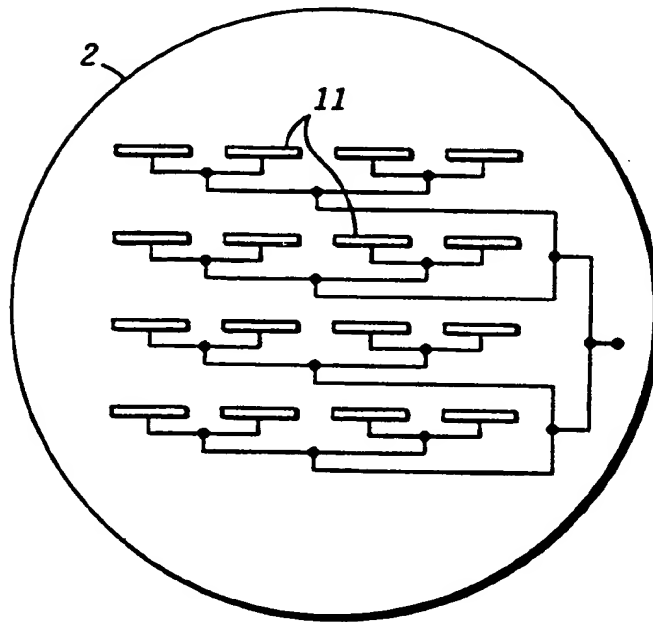


FIG. 1

FIG. 2



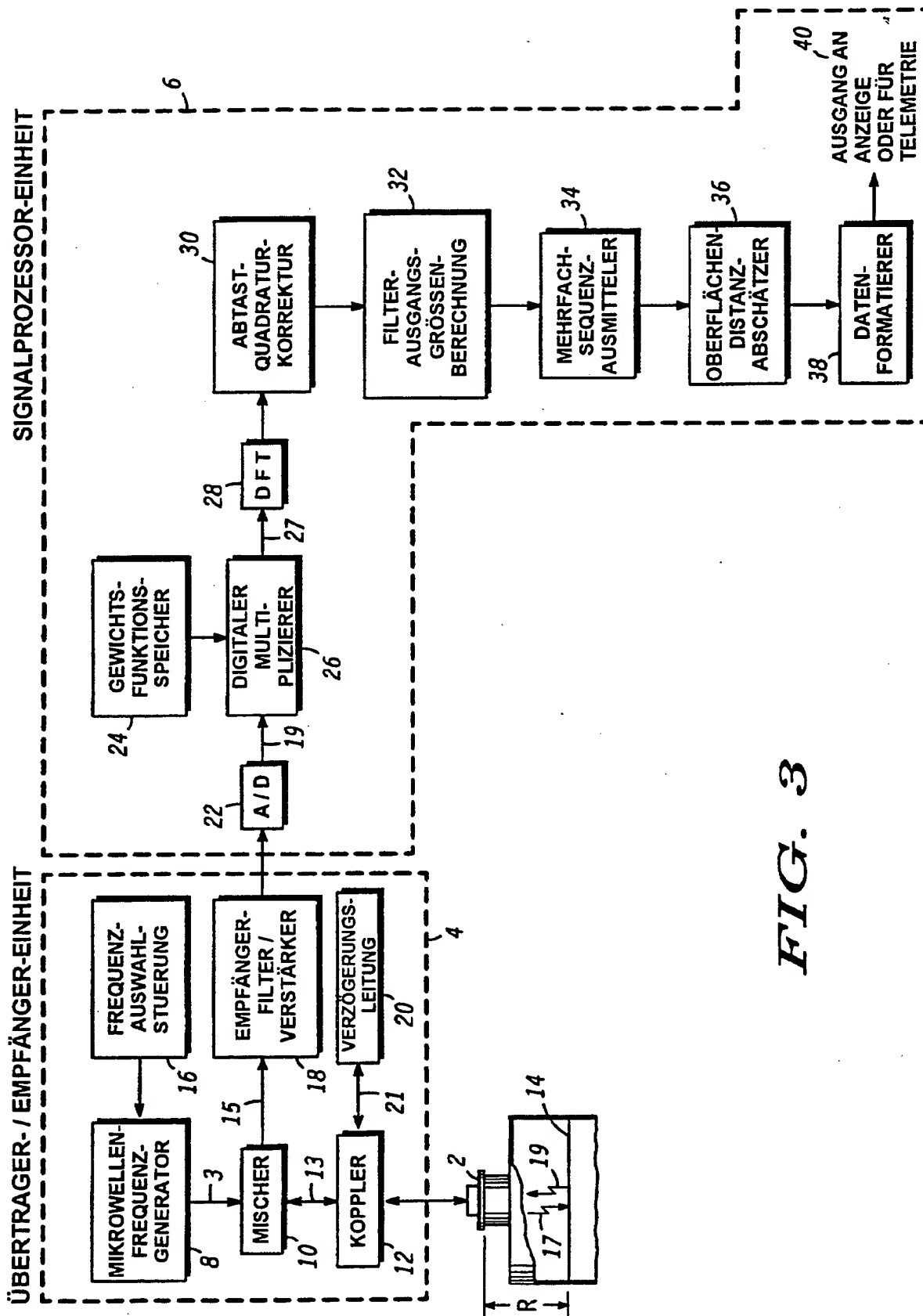


FIG. 3

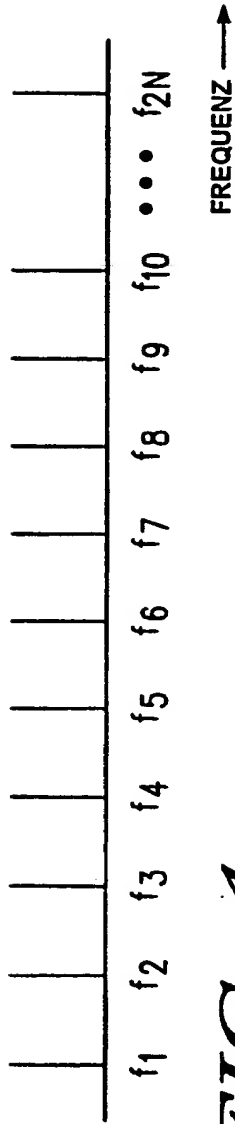


FIG. 4

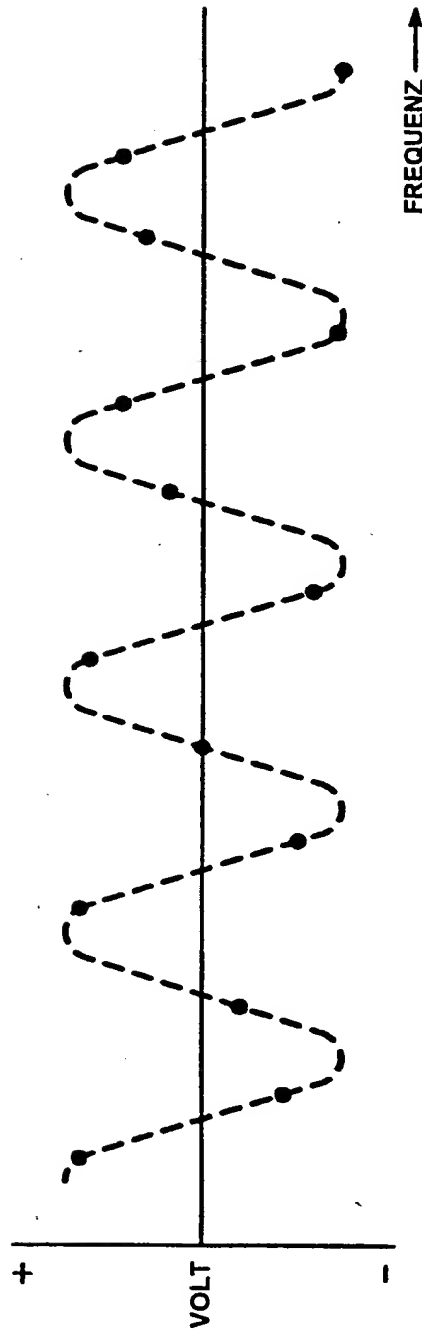


FIG. 5

